

# 卒 業 論 文

## 自動車運搬船における貨物積載プランニング の車両配置問題に対する構築型解法

101810106 黒須諒

名古屋大学情報学部  
自然情報学科数理情報系

2022年2月

# 自動車運搬船における貨物積載プランニングの車両配置計画に対する構築型解法

101810106 黒須諒

## 概要

複数の港で自動車を積み、複数の港で自動車を降ろす自動車運搬船について考える。自動車運搬船に積む自動車の集合が与えられてから実際に自動車が船に積まれるまでに、席割とシミュレーションと呼ばれる二種類の作業が行われる。席割では、船の階層内を一定間隔の大きさに区切ったホールドと呼ばれるスペースの各々に、与えられた積載自動車リスト喉の自動車を何台割り当てられるかを考える。シミュレーションでは席割作業でホールド毎に割り当てられた自動車を、自動車の向きや空きスペース、作業効率などを考慮して車一台一台の配置場所を決定する。本研究では、シミュレーションの自動化をするために数理最適化の技術によってコンピュータで短時間かつ効率の良いシミュレーション結果を出力することを目標とする。

シミュレーションは二次元パッキング問題として定式化することが出来るが、人が自動車を運転して所定の位置まで移動するという事を考えなければいけない。各デッキのランプと呼ばれる入口から配置場所までの移動経路確保と、駐車に要する局所的スペースの確保が課題となる。

本研究では二段階の構築法を提案する。一段階目では、積み地、揚げ地が同じ車を1つのグループとし、グループの大まかな配置場所を決める。グループに属する車の総面積を求め、面積を固定した、形状可変の長方形詰込み問題として定式化する。各グループを積み港を優先して並べた配列と揚げ港を優先して並べた順列対を用意しシーケンスペア法を用いた制約を追加することで、ランプから配置場所までの移動経路を確保することができる。この計算には、商用の整数計画ソルバー (Gurobi Optimizer) を使用し最適解を求める。

二段階目では、各グループ内の車を一段階目で決められた場所の中で一台ずつパッキングを行う。解法として配置可能な場所の中で出来るだけ左下に詰込む bottom-left 法を用いた。この際、配置する予定の車に駐車に必要なスペースを加えレクトリニア図形とすることで駐車時の局所的なスペース確保を実現する。

以上の構築法により得られた配置図と実際に現場で使われている配置図とを比較し、解の評価を行う。

# 目次

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 第 1 章 | はじめに                             | 1  |
| 第 2 章 | 問題定義                             | 2  |
| 2.1   | 用語定義 . . . . .                   | 2  |
| 2.2   | 入力情報 . . . . .                   | 3  |
| 2.3   | 出力 . . . . .                     | 3  |
| 第 3 章 | 定式化                              | 4  |
| 3.1   | 記号の定義 . . . . .                  | 4  |
| 3.2   | 制約 . . . . .                     | 4  |
| 3.3   | 目的関数 . . . . .                   | 5  |
| 第 4 章 | 提案手法                             | 6  |
| 4.1   | 第一段階 . . . . .                   | 6  |
| 4.1.1 | シーケンスペアによる解表現 . . . . .          | 6  |
| 4.1.2 | soft-rectangle パッキング問題 . . . . . | 6  |
| 4.1.3 | 第一段階に対する解法 . . . . .             | 6  |
| 4.2   | 第二段階 . . . . .                   | 6  |
| 4.2.1 | bottom-left 法 . . . . .          | 7  |
| 4.2.2 | レクトリニア図形 . . . . .               | 7  |
| 第 5 章 | 提案手法 2                           | 8  |
| 第 6 章 | 計算実験                             | 9  |
| 6.1   | 第一段階の求解結果 . . . . .              | 9  |
| 6.2   | 第二段階の求解結果 . . . . .              | 9  |
| 第 7 章 | まとめと今後の研究計画                      | 10 |
|       | 参考文献                             | 12 |

# 第1章 はじめに

複数の港で自動車を積み、複数の港で自動車を降ろす自動車運搬船について考える。一般的に自動車運搬船は、自動車を船の一定間隔で区切られたホールドと呼ばれるスペースにどの自動車を何台割り当ててるかを決定する席割作業と呼ばれる工程を経て、その後席割作業で割り当てられた自動車に対して向きや場所を考慮して一台ずつ船内の領域に配置するシミュレーションと呼ばれる作業を行う。現状、自動車を輸送する会社はこの作業を人手で行なっていることが多く、席割作業に3時間、シミュレーション作業に4時間かかることから、これらの工程を自動化することが業務効率化に役立つと考えている。

本研究では、2つの工程のうちシミュレーション作業に対して、数理最適化の技術によってコンピュータで短時間かつ効率の良いシミュレーション結果を出力することを目標とする。

本研究で扱うシミュレーション作業の概要について述べる。席割作業の結果から、各階層の各ホールドにどの種類の車を何台詰込むかという情報が与えられる。この情報をもとにシミュレーション作業を行う。

ホールド内に詰込む種類の車は一種類とは限らないので、ホールド内のどの位置に車を詰込むかといったことを決定する。

本稿では、第2章で問題に対する詳細な設定や、本研究で扱う自動車運輸航海における専門用語について定義する。第3章では、問題の定式化と定式化に必要な変数や定数の定義を行う。第4章では、提案手法の説明を行う。

## 第2章 問題定義

シミュレーション作業は各階層ごとに行う。各階は4つのホールドと呼ばれる一定の広さで区切られたスペースが存在し、各ホールドに詰込む車の数、大きさ、種類、積み地、揚げ地は決まっている。本稿では複数の種類のある階層の中で、単純な階層のデータを用いて行う。

### 2.1 用語定義

本研究で扱う船の航海等に関する専門用語の定義をする。

- 席割  
注文一つ一つを船のホールド割り当てる作業。
- シミュレーション  
席割で決まった自動車を一台ずつホールド内の領域に貼り付ける作業。
- プランナー  
席割やシミュレーションを考える作業。
- オペレーター  
港で自動車をホールドまで運転して積み降ろしをする作業。
- デッキ  
船の内部の階層。
- ホールド  
各デッキ内を一定間隔の領域で仕切られた空間。
- セグメント  
隣接するいくつかのホールドをまとめた空間。
- ランプ  
上下デッキに移動するために各デッキの特定ホールドについているスロープ。
- 注文  
乗用車 100 台を港 A から港 B へ輸送, トラック 30 台を港 C から港 D へ輸送というような積載自動車の情報とそれらの積み地と揚げ地に関する情報。
- 積み地  
注文における自動車を積む港。
- 揚げ地  
注文における自動車を降ろす港。

- RT (revenue ton)  
基準となる車一台の面積に対する各注文の車の面積の割合.
- ユニット数  
各注文に含まれる自動車の台数.

## 2.2 入力情報

本研究で扱う 2 種類の情報について述べる.

- 車情報  
車の数, 種類, 大きさ, 積み地, 揚げ地, 指定のホールド.  
本研究では実際のプランで使われているデータを利用した.
- 船体情報  
船体の大きさ, 各階層のランプの位置, 船内の障害物の位置や大きさ.  
本研究では実際の図面データを元に手入力で行った.

入力情報のうち車体情報の例を表 2.1 に示す.

表 2.1: 車体情報の例

| 番号 | 車種      | 積み地 | 揚げ地 | 数量  | ホールド | 横幅  | 高さ  |
|----|---------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| 1  | Prius   | A 港 | E 港 | 100 | 1    | 200 | 500 |
| 2  | Prius   | A 港 | E 港 | 100 | 2    | 200 | 500 |
| 3  | Aqua    | B 港 | F 港 | 30  | 2    | 250 | 450 |
| 4  | Carolla | C 港 | G 港 | 60  | 3    | 180 | 480 |
| 5  | Lexus   | C 港 | G 港 | 40  | 3    | 230 | 510 |
| 6  | Lexus   | D 港 | H 港 | 100 | 4    | 230 | 420 |

## 2.3 出力

## 第3章 定式化

この章では本研究における用語や制約，目的関数について説明する．本研究では2段階に分けた構築法を提案するため，それぞれ分けて説明する．それぞれの段階の説明は第4章に記す．

### 3.1 記号の定義

### 3.2 制約

本研究で扱う独自の制約について説明する．

#### 第一段階

##### (i) 自動車移動経路に関する制約

ランプから配置場所まで，自走で到達するためには，船の入口から配置場所まで移動する経路が必要である．従って本研究では，必要な導線上に，既配置の車がないようにする．

##### (ii) グループの大きさに関する制約

各グループの

#### 第二段階

##### (i) 配置位置に関する制約

各車の配置位置は，席割で決められたホール드에駐車しなければいけない．実際には，ホールド単位ではなくセグメント単位で行う．

##### (ii) 駐車方法に関する制約

駐車は原則的にバック駐車で行う．配置場所付近に障害物等があると，物理的に駐車できない可能性がある．

##### (iii) 駐車間隔に関する制約

駐車する車同士の間隔は，前後方向に10cm，左右方向に40cm空いていなければいけない．

### 3.3 目的関数

第一段階

第二段階



## 第4章 提案手法

本研究では2段階に分けた手法を提案する。1段階目では、同一セグメント内で、積み地、揚げ地が同じ車を一つのグループとし、デッキ内のグループの配置場所を決定する。2段階目では、各グループ内で一台ずつの詳細な配置場所を決定する。

### 4.1 第一段階

同一セグメントで、積み地揚げ地が同じ車を一つのグループとする。この際、グループ内の車の総面積を計算しておく。

#### 4.1.1 シーケンスペアによる解表現

シーケンスペアとは長方形詰込み問題において使われる手法である。二つの順列を元に、左右上下の相対位置関係を決定することができ、一意の配置図を生成することができる。【具体的には以下の通り】

#### 4.1.2 soft-rectangle パッキング問題

長方形は高さと幅が決められた形を指す。soft-rectangle は、面積一定のもと高さと幅の長さを変えることのできる長方形である。パッキング問題の応用として、soft-rectangle パッキング問題がある。

#### 4.1.3 第一段階に対する解法

グループを積み地の昇順に並べた順列  $\partial+$  と、揚げ地の降順に並べた順列  $\partial-$  を用意する。 $\partial+$  において、積み地が同じグループが存在する場合、それらのグループ間で揚げ地の降順にする。 $\partial-$  において、揚げ地が同じグループが存在する場合、それらのグループ間で積み地の昇順にする。

二つの順列で順序が同じグループは、上下方向の制約を追加する。二つの順列で順序が異なるグループは、左右方向の制約を追加する。

以上に soft-rectangle パッキング問題の制約を加え、整数計画ソルバー (Gurobi Optimizer) を用いて計算を行った。与えられた問題例の全てで、1秒以内に最適解を求めることができた。

### 4.2 第二段階

第一段階で定められた領域内で、車一台ずつの詳細な配置場所を決定する。

### 4.2.1 bottom-left 法

bottom-left 法 (BL 法) とは長方形詰込み問題に対するアルゴリズムの一つで, 配置可能な領域の内, 最も下に, 同じ高さの候補があれば, 最も左に配置する手法である. 面積の大きい順にパッキングするといったように, 順番を工夫することで有用な解が得られるとされている.

本研究では, 解の構築に bottom-left 法を応用した手法を用いた. デッキの入口から見て下の部分では, bottom-left 法をそのまま利用した. デッキの入口から見て上の部分では, 配置可能な場所のうち出来るだけ上, 同じ高さなら左といった top-left 法を採用した.

### 4.2.2 レクトリニア図形

レクトリニア図形とは, 縦の線分と横の線分で囲まれた図形である. レクトリニア図形は長方形の輪集合としても表される.

本研究ではパッキング時に, 駐車に必要なスペースを加えたレクトリニア図形と見なし, パッキング後は元の大きさの長方形とすることで一台一台の駐車位置を確保した.

## 第5章 提案手法2

## 第6章 計算実験

実験に用いるプログラムは Python を用いて実装し，計算機は MacBookAir(CPU: Apple M1 chip, メモリ: 8GB) を用いて行った．整数計画ソルバーとして，Gurobi Optimizer (ver9.5) を使用した．

### 6.1 第一段階の求解結果

整数計画ソルバー (Gurobi Optimizer) を用いて計算した結果，全ての問題例で最適解が得られた．出力の例を以下の図に示す．長方形内の番号はグループの番号を表す．

### 6.2 第二段階の求解結果

出力される配置図と詰め込むことのできなかった車の台数の例をそれぞれ以下の図に示す．

## 第7章 まとめと今後の研究計画

自動車運搬船への貨物積み付け計画における，車両配置計画に対して2段階の構築法を提案した．2段階にすることで，各車の積み地と揚げ地における導線確保と駐車時の局所的スペース確保を実現した．1段階目では，シーケンスペアと soft-rectangle パッキング問題に帰着することで求解することができた．2段階目では，レクトリニア図形とパッキング問題に有用な bottom-left 法を用いて構築した．

# 謝辞

本研究の遂行にあたり、熱心な指導と助言を頂きました柳浦睦憲教授に深く感謝の意を表します。提案手法の検討やその有用性において活発に議論を頂きました、胡艶楠氏、竹田陽氏には大変お世話になりました。深くお礼申し上げます。日々の研究室生活においては柳浦研究室の皆様にお世話になりました。皆様のおかげで有意義な研究活動に勤しむことができました。深くお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] M.R. Garey and D.S. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, Freeman, New York, 1979.
- [2] S. Imahori, M. Yagiura and T. Ibaraki, Variable neighborhood search for the rectangle packing problem, *Proceedings of the 6th Metaheuristics International Conference (MIC)*, Vienna, Austria, August 22–26, 2005, pp. 532–537.
- [3] D.S. Johnson and L.A. McGeoch, The traveling salesman problem: a case study, in: E.H.L. Aarts and J.K. Lenstra (eds.), *Local Search in Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons, Chichester, 1997, pp. 215–310.
- [4] 真野洋平, 橋本英樹, 柳浦睦憲, 学生実験のスケジューリングシステムの構築, オペレーションズ・リサーチ, 58 (2013) 524–532.
- [5] M. Yagiura, T. Ibaraki and F. Glover, An ejection chain approach for the generalized assignment problem, *INFORMS Journal on Computing*, 16 (2004) 133–151.